堆肥有效養分潛能估測之研究

蔡宜峰[1] 莊作權[2] 黃裕銘[3]

摘要：如能適當的估算堆肥的有效養分潛能(PAN, potentially available nutrient)，並巧妙地配合作物生育特性，將使堆肥的效益發揮至最恰當。本研究目的在於評估利用化學萃取法，估算堆肥有效養分潛能之可行性。供試之化學萃取劑包括1M $(NH_4)_2CO_3$, 0.1M NaOH, 1M Na_2CO_3 及1M $(NH_2)_2CO$ 等四種，經由多種有機材質製成的不同堆肥之玉米盆栽試驗結果顯示，利用碳酸銨萃取堆肥所得之可利用性有機氮量與施用相同種類堆肥之淨有效氮量可用$\ln Y=\ln a+b/X$(X：碳酸銨萃取堆肥之有效性氮潛力，Y：堆肥淨有效氮量) 迴歸程式描述碳酸銨萃取堆肥所得可利用性有機氮量與施用相同種類堆肥的淨有效氮量之關係，其相關性(r^2=0.673**)可達極顯著水準，因此碳酸銨萃取法以估測堆肥之有效養分潛力頗具可行性。

關鍵詞：堆肥、有效養分潛能

前　　言

將有機廢棄物回歸于農田，已是現今消納有機廢棄物之重要方向之一。有機廢棄物經過適當處理以克服有毒重金屬及有機成分等限制因子後，不僅可以提供作物營養源，且有利於土壤的理化性及生物性之改善[21,23]。有機質所含化合物成分在土壤中經過微生物之礦化作用釋出無機養分。所以有機質礦化潛力即可定義爲有機質有效養分潛力(Potentially Available Nutrient, PAN)[3,9]。有機質在土壤中的礦化作用受到許多因子影響，如土壤特性(質地、結構、有機質含量等)，降雨量、土壤環境(溫度、水分、pH值)、有機質本身特性、施用量及施用時期等[22,27]。現今已有例證顯示，長期施用單一有機質肥料，或一次過量施用有機質肥料，會造成土壤中某些養分含量失衡，而不利作物生長或形成二次污染[5,16]。所以審慎地估算有機質有效養分潛力，有助於經濟且有效地使用有機質肥料。一般有機質必須礦質化後才能釋出養分供作物吸收，其礦化釋出養分太早、或累積太多、或待作物生長旺期過後才釋出者，對作物生長及土壤環境皆不利[31]，因此要使有機質肥料有效性發揮最大，必須使有機質肥料的養分礦化速率與作物養分吸收速率互相配合[28]，所以瞭解有機質肥料的礦化速率大小，才能達到經濟且有效地使用有機質肥料。而適當的考量作物產量標的(crop yield goals)和有機質肥料的有效養分潛力，亦即在作物生長期內有機

1. 台中區農業改良場助理研究員
2. 國立中興大學土壤環境科學系教授
3. 國立中興大學土壤環境科學系副教授

質料的礦化潛能，則能決定有機質肥料的適宜施用量，以使有機質肥料的效益發揮最大[18]，因此尋求合理迅速的分析方法以估算有機質肥料可利用性養分潛力及礦化速率之大小，將是有機廢棄物處理工作上極爲重要的步驟之一。一般常用直接孵育法以估測有機質肥料可利用性養分潛力及礦化速率之大小[6]，惟此法未能判別有機質是否爲礦化作用或固化作用，所以適用性仍有限，尤其必須耗費長時間的孵育期。由於許多研究指出單就有機物所含之要素成分尙不足以作爲有機質肥料的有效養分潛能之指標，而與其有機組成之種類及含量有密切關聯[7,8,11,15]。由一般有機物在堆肥化中及堆肥在土壤中轉化之組合模式顯示，于一般作物生育期間(大多約爲3～5個月)，有機物或堆肥成分中可供微生物礦化分解之主要化合物部分，可歸類屬於無機及易分解有機部分，如能發展出一種適當的化學萃取方法足以正確地將堆肥成分中易分解有機成分及無機部分加以分析定量，即能適切地估算出有機物及堆肥之有效養分潛力。然而至今尙無一種萃取法能滿足各種有機質肥料之評估，所以有必要研究建立一種較適宜之化學萃取法，以期能正確且迅速地適當評估不同有機質肥料之有效養分潛力。因此本文主要研究目的即擬建立較適宜的化學萃取方法，以期能適當的萃取及分析堆肥中有效養分潛能，再經由玉米植體養分吸收量之試驗分析，以發展出能適當的描述堆肥礦化潛能之數學迴歸模式，以期能適當的描述施用堆肥之有效養分潛能與玉米生育狀況之實質關係，以供日後研究及應用之參考。

材料與方法

一、試驗處理與方法

(一)建立化學萃取方法之研究

1.不同萃取劑試驗(Ⅰ-1)

本試驗使用四種不同化學萃取劑，包括0.1M 氫氧化鈉(NaOH)，1M 碳酸氫鈉(Na_2CO_3)，1M 碳酸銨($(NH_4)_2CO_3$)及1M 尿素($(NH_2)_2CO$)等，試驗堆肥材料包括牛糞堆肥(DC)、木屑雞糞堆肥(SC)、稻草雞糞堆肥(RC)、稻草豬糞堆肥(RH)、稻草牛糞堆肥(RD)、稻草大豆粕堆肥(RS)等，堆肥材料一般基本性質列於表1，堆肥材料均事先經過磨粉過篩(100mesh)及105℃烘乾待用，萃取比例是以化學萃取劑體積用量(ml)與堆肥材料重量(g)之比例爲50：1，即稱取4g堆肥材料，加入200ml萃取劑，將此萃取溶液裝於300ml塑膠瓶內，置於恆溫(30±0.5℃)下，經連續72hrs振盪後,再以離心法(3000xg, 30mins) 收集上澄液，測定上澄液有機碳含量，即爲可萃取性碳含量，另吸取20ml上澄液加入幾滴0.01M氯化鈣($CaCl_2$)以將有機成分沉澱[4]，再以濾紙過濾，並以酒精及蒸餾水淋洗，收集沉澱部分烘乾後，測其氮及磷成分含量,即爲可萃取性有機氮及磷之含量。

2.萃取比例試驗(Ⅰ-2)

本試驗主要在於探討萃取劑體積用量(ml)與堆肥材料重量(g)之間的相對比例之影響，試驗處理分別爲10:1、50:1、100:1等三級不同萃取比例。試驗使用之萃取劑包括0.1 M氫氧化鈉，1M碳酸氫鈉及1M尿素等，堆肥材料之前處理以及萃取之溫度、時間等條件均與上述試驗Ⅰ-1相同，萃取液亦用離心法收集後，分別測定可萃取性有機碳、氮及磷等含量。

3.萃取振盪時間試驗(Ⅰ-3)

本試驗主要在於探討萃取振盪時間之影響，試驗處理分別爲24、48、72、144 hrs 等四

級處理。試驗使用之萃取劑為1M碳酸銨，萃取劑與堆肥材料比例為50:1，堆肥材料之前處理以及萃取之溫度(30℃恆溫)均與上述試驗 I -1相同，萃取液亦用離心法收集後，分別測定可萃取性有機碳、氮及磷等含量。

表1、試驗用堆肥之全氮、全磷、全鉀、無機氮及有機碳含量
Table 1. The total nitrogen, phosphate, potassium, mineral nitrogen, and organic carbon contents of test composts(on dry weight base)

Compost	Total-N	Total-P	Total-K	Mineral-N	O.C.
	%	%	%	mg/kg	%
RC	2. 74±0. 32	0. 99±0. 04	2. 62±0. 14	922± 63	32. 3±3. 5
RH	2. 56±0. 26	0. 93±0. 15	2. 24±0. 10	718± 55	36. 9±7. 1
RD	2. 10±0. 20	0. 69±0. 35	2. 09±0. 17	466± 31	33. 4±1. 5
RS	2. 49±0. 16	0. 35±0. 03	3. 33±0. 41	775± 46	35. 9±3. 5
SC	2. 72±0. 33	0. 46±0. 04	1. 01±0. 02	1367± 14	41. 4±2. 2
DC	2. 26±0. 06	0. 67±0. 05	1. 28±0. 04	337± 25	37. 2±1. 3
MC	2. 23±0. 18	0. 44±0. 09	1. 41±0. 21	968± 67	37. 5±1. 3
HM	2. 53±0. 52	2. 15±0. 23	1. 02±0. 14	1536±122	28. 4±1. 3

RC：rice straw-chicken waste compost
RH：rice straw-hog waste compost
RD：rice straw-dairy waste compost
RS：rice straw-bean meal compost
SC：sawdust- chicken waste compost
DC：dairy waste compost
MC：mushroom- chicken waste compost
HM：hog manure

4. 萃取劑pH值試驗(I -4)

本試驗主要在於探討萃取劑pH值之影響，試驗使用之萃取劑為1M碳酸銨為主，並以測定1M碳酸銨溶液之pH 值8.2為基準，另用氫氧化鈉將其pH值分別調整為10.3及12.3等，組合成三級不同pH值處理。萃取劑與堆肥材料比例為50:1，堆肥材料之前處理以及萃取時之溫度、時間等條件均與上述試驗I-1相同，萃取液亦用離心法收集後，分別測定可萃取性有機碳、氮及磷等含量。

(二)堆肥礦化潛能模式之建立

本節試驗主要目的在於經由堆肥可利用性養分含量與玉米植體養分吸收量之分析，以期建立能適當的描述堆肥礦化潛能之數學迴歸模式，因此辦理多項玉米盆栽試驗，試驗地點均于彰化縣大村鄉台中區農業改良場內實施，栽培盆直徑為25cm，高30cm，每盆裝12kg土壤，試驗土壤均採自前作為水田之田區，以期土壤肥力特性能較為均勻。堆肥用量依堆肥重量與盆栽土壤重量之相對比例為基準。

1. 第一期玉米盆栽試驗于民國八十年春作實施，堆肥種類包括有稻草雞糞堆肥(RC)、稻草豬糞堆肥(RH)、稻草牛糞堆肥(RD)、稻草大豆粕堆肥(RS)等，用量處理分別爲重量比3% 及6%二級，四重覆，包括四種堆肥、二級用量處理及空白對照處理共計九處理，試驗土壤屬粘板岩沖積土鹿港系，其一般土壤特性分析列於表2之II -1項內。
2. 第二期玉米盆栽試驗于民國八十一年秋作實施，堆肥材料爲木屑雞糞堆肥(SC)及牛糞堆肥(DC)二種，用量處理則爲0.75、1.50及2.25% 三級，四重覆，包括二種堆肥、三級用量處理及空白對照處理共計七處理，試驗土壤屬粘板岩沖積土二林系，其一般土壤特性分析列於表2之II -2項內。
3. 第三期玉米盆栽試驗于民國八十二年秋作實施，試驗堆肥種類包括太空包雞糞堆肥(M C)及豬糞廏肥(PC)二種，施用量分別爲6、3及1%(重量比)等三級，另設空白對照處理，共組合成七處理，四重複。堆肥依處理用量等級于玉米播種前與土壤充分混合均勻，當基肥一次施用。試驗土壤爲紅壤 (平鎮系)，其一般土壤特性分析列於表2之II -3項內。

表 2、試驗前土壤一般特性分析

Table 2. Soil characteristics of tested soils before experiment

	II - 1	II - 2	II - 3
pH	7. 8±0. 2	7. 2±0. 1	5. 3±0. 1
OM(g/kg)	13. 0±0. 8	11. 5±0. 2	16. 5±0. 3
P(mg/kg)	23. 3±1. 3	22. 5±2. 3	17. 0±2. 2
K(mg/kg)	78. 5±7. 8	62. 0±4. 7	60. 5±5. 2
Ca(mg/kg)	2659±110	2199±58	764±27
Mg(mg/kg)	331±34	165±26	113±29
Mineral-N (mg/kg)	19. 0±1. 4	13. 0±0. 8	11. 0±0. 5

二、分析項目與方法

土壤樣品先經風乾處理，經2mm 篩網過篩後分別測定土壤化學性質，土壤pH以水：土1：1，pH電極測定。1M醋酸銨(pH 7.0)土：溶液比1:10抽出液測交換性鉀(燄光分析儀)、鈣及鎂(原子吸收分析儀)。Bray No.1 方法抽取並用鉬藍法測有效性磷。植物體樣品採樣後先以蒸餾水清洗, 植物體與堆肥樣品均經70℃烘箱烘乾，以溼灰法分解後測定氮、磷及鉀含量。

結果與討論

一、化學萃取法之建立

(一)不同萃取劑試驗

1.可萃取性有機碳、氮及磷之含量

本試驗目的在於瞭解不同化學萃取劑應用萃取有機質肥料中可利用性養分潛力之影響，由於一般常使用强鹼溶液作爲萃取土壤中腐植質化成分之萃取劑 (International Humic Substances Society; IHSS)，爲期較能配合一般有機質肥料具有腐植質化之特性，因此本試驗即選用諸如氫氧化鈉(NaOH)[17]，碳酸鈉[12]，碳酸銨及尿素[14]等偏鹼性溶液爲萃取劑種類。

由表3 不同萃取劑試驗測得之可萃取性有機碳、氮及磷之含量顯示，以0.1M氫氧化鈉所能萃取之有機碳含量約爲76～121g/kg，可萃取性有機氮含量約爲4528～7654mg/kg，可萃取性有機磷含量約爲390～1682mg/kg。1M碳酸鈉所能萃取之有機碳含量約爲66～72g/kg，可萃取性有機氮含量約爲2090～2845 mg/kg，可萃取性有機磷含量約爲989～1553mg/kg。1M碳酸銨所能萃取之有機碳含量約爲26～55g/kg，可萃取性有機氮含量約爲1727～5801mg/kg，可萃取性有機磷含量約爲249～826mg/kg。1M 尿素所能萃取之有機碳含量約爲37～45g/kg，可萃取性有機氮含量約爲1180～1787mg/kg，可萃取性有機磷含量約爲615～701mg/kg。由以上結果顯示，以0.1M氫氧化鈉所能萃取之有機成分含量最高，其次分別爲1M碳酸鈉、1M 碳酸銨及1M尿素。Keeney與Bremner(1966) 曾發展不同化學萃取法作爲土壤有效氮指標，其中以1M氫氧化鈉所萃取之氮量最高，約爲250mg/kg，其次以0.1M 氫氧化鋇($Ba(OH)_2$)萃取氮量約爲150mg/kg，以0.5M硫酸萃取氮量約100mg/kg爲最低[17]。Serna與Pomares(1992)利用6M鹽酸(HCl)所萃取之氮量約爲793～877mg/kg，以0.5M 過錳酸鉀($KMnO_4$)所萃取之氮量約爲192～217mg/kg[25]，顯然利用偏鹼性萃取劑所萃取之有機成分量高於利用酸性或中性萃取劑者。

綜合本節試驗分析結果，顯然萃取劑不同者，對有機物之萃取作用的效能即不同，而其萃取量多寡，正代表著利用此一萃取劑評估有機質肥料可利用性養分潛力之大小。又由以上四種不同萃取劑所萃取之有機成分含量而言，凡萃取有機碳含量較多者，其可萃取性有機氮及磷含量即較多，彼此間有密切之相關，顯然萃取劑作用於有機質肥料後會釋出氮及磷成分，如此經由有機碳成分之分析，即可估算萃取性有機氮及磷之含量。

表3、不同萃取劑試驗測得之可萃取性有機碳、氮及磷之含量

Table 3. The amounts of org.C,org.N,org.P extracted by several chemical extractors

Chemical extractor	Compost	Extractable Org. C	Extractable Org. N	Extractable Org. P
		g/kg	mg/kg	mg/kg
0.1M NaOH	RC	121±15	7654±261	1578± 58
	RH	118± 6	7349±108	1417±132
	RD	76± 7	5136± 74	1682± 26
	RS	102±10	7032±149	925± 97
	SC	104± 4	6550±302	390± 62
	DC	116± 7	4528±136	1676±204
1M Na_2CO_3	SC	72±4	2845±111	989± 55
	DC	66±2	2090±122	1553±105
1M $(NH_4)_2CO_3$	RC	55±5	5801±227	586±131
	RH	51±3	5120± 65	601± 86
	RD	26±3	4267±142	826±118
	RS	42±2	4678±138	437± 59
	SC	47±5	3390±391	249± 14
	DC	44±5	1727± 53	638±101
1M Urea	SC	45±6	1787±112	615±64
	DC	37±7	1180±204	701±83

RC：rice straw-chicken waste compost
RH：rice straw-hog waste compost
RD：rice straw-dairy waste compost
RS：rice straw-bean meal compost
SC：sawdust- chicken waste compost
DC：dairy waste compost

2. 分光光度計吸收光譜及傅立葉轉換紅外線光譜分析

由於有機物及堆肥本身所含的有機組成之種類及含量等是影響其礦化特性的主要因素之一，所以如能發展出一種適當的化學萃取方法足以正確地將堆肥成分中易分解有機成分及無機部分加以分析定量，即能適切地估算出有機物及堆肥之可利用性養分潛力(PAN)[20,26]。使用分光光度計吸收光譜法及紅外線光譜法研究腐植質構造上之訊息已為多數學者所採行[12,19]，為進一步瞭解本節試驗所使用之不同萃取劑作用於堆肥所得萃取液之有

機組成的特性，即利用分光光度計(UV-2000, Spetrophotometer)及傅立葉轉換紅外線光譜儀(fourier transform infrared spectrophotometry; FTIR)檢測不同萃取劑(0.1M 氫氧化鈉、1M 碳酸鈉、1M碳酸銨)應用于牛糞堆肥所得的萃取液。

圖1即爲利用分光光度計分析不同萃取劑萃取牛糞堆肥所得萃取液之吸收光譜，由波長200nm至700nm之吸收光譜曲線變化顯示，不同萃取劑所得萃取液之吸收光譜均可得到一最大吸收波峰，唯不同萃取液之最大吸收波峰的波長範圍顯然不同，0.1M氫氧化鈉的萃取液約爲280nm，1M碳酸鈉的萃取液約爲290nm，1M碳酸銨的萃取液約爲240nm。Fox與Piekielek (1978) 曾利用光度計由200～320nm之近紫外線波長範圍分析以0.01M 碳酸氫鈉所得之土壤萃取液，結果顯示在波長230～310nm範圍內之吸收光譜曲線呈近直線下降趨勢(12)。一般紅外線光譜法常用於官能基之鑑定，而傅立葉轉換紅外線光譜法更能提供較強之訊躁比(signal to noise ratio; S/N)，以及較精確之頻率與較高之再現性(2,13)，圖2 即顯示利用不同萃取劑萃取牛糞堆肥所得萃取液之傅立葉轉換紅外線光譜，其中不同萃取液圖譜的吸收峰除了相對強度之差異外，幾個主要吸收峰之波數範圍及其官能基鑑識如下(29)：3400-3300cm^{-1}(OH鍵結或NH鍵結)，1660-1630cm^{-1}(C=O鍵),1460-1450cm^{-1}(脂肪族C-H鍵)，1396-1366cm^{-1}(羧酸鹽COOH鍵)，1280-1200cm^{-1}(C-O鍵或COOH鍵結的OH鍵)，1170-950 cm^{-1}(多醣類的C-O鍵)。由圖2 顯示本節試驗所使用不同萃取劑所得萃取液圖譜的主要吸收峰之波數及相對強度均有所差異，顯然不同萃取液成分的主要官能基種類及含量即有所不同。

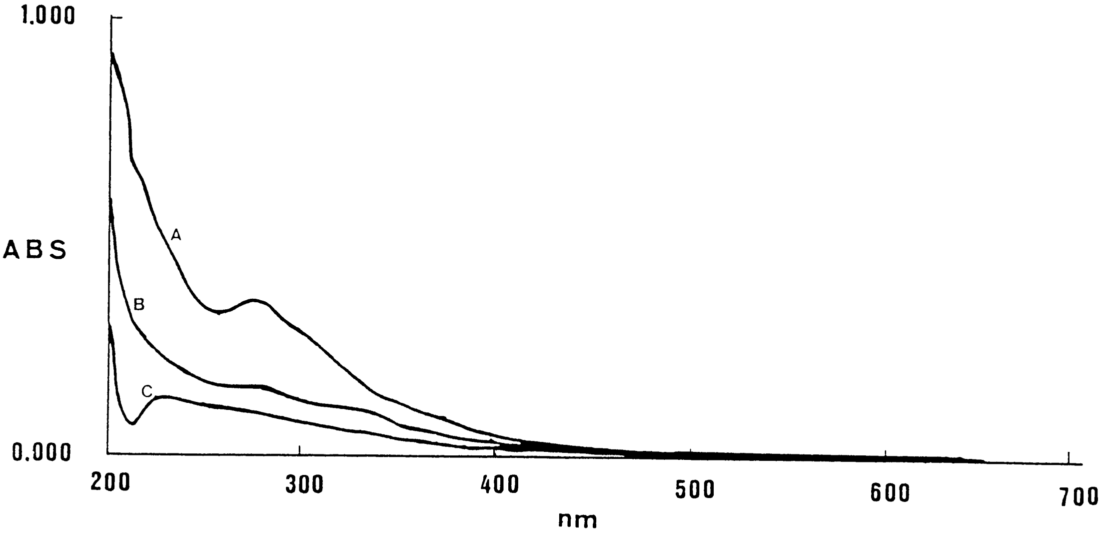

圖 1. 利用分光光度計分析不同萃取劑萃取牛糞堆肥所得萃取液之吸收光譜 (200～700nm)

Fig 1. The absorption spectra of different chemical extractors extract from dairy compost as the wavelength from 200 to 700nm

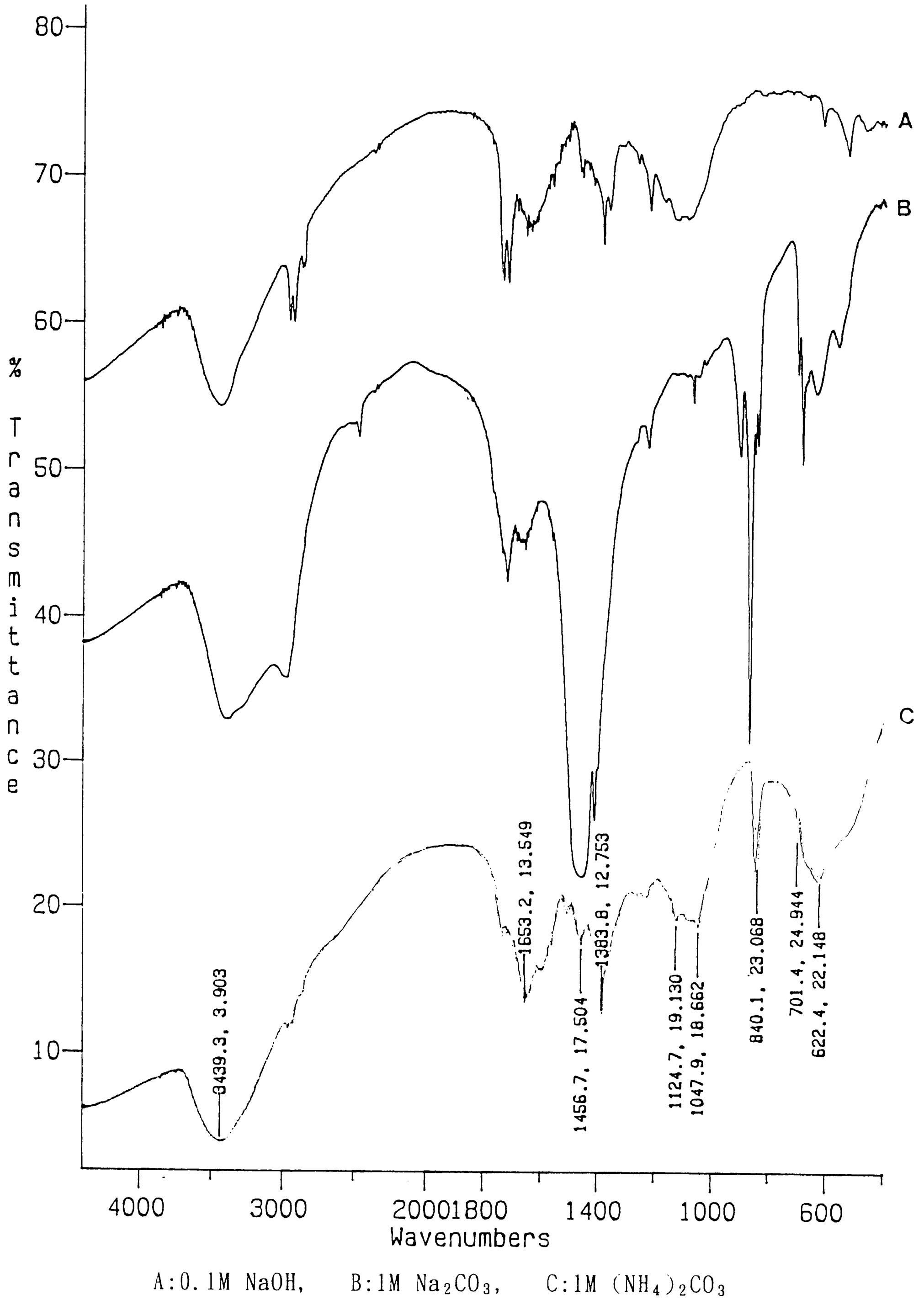

圖 2. 利用不同萃取劑萃取牛糞堆肥所得萃取液之傅立葉轉換紅外線光譜

Fig 2. Fourier transform infrared spectra of different chemical extractors extract from dairy compost

綜合以上無論是利用分光光度計的吸收光譜之最大吸收波峰的波長範圍，或利用傅立葉轉換紅外線光譜法分析圖譜的主要吸收峰之波數及相對强度等結果，均顯示由0.1M氫氧化鈉、1M碳酸鈉及1M碳酸銨等不同萃取劑應用于牛糞堆肥所得可萃取性有機組成及其官能基種類與含量等特性均有所差異。因此應可利用此等不同萃取劑作爲估算堆肥中可萃取性養分之指標，唯其適用性仍應由作物養分吸收特性加以研判。

㈡萃取比例試驗

本試驗主要在於探討萃取劑體積用量(ml)與堆肥材料重量(g)之間的相對比例對有機質肥料中可萃取性碳、氮及磷成分量之影響。表4 顯示不同萃取比例處理對牛糞堆肥中可萃取性有機碳量之影響，以0.1M 氫氧化鈉爲萃取劑時，在萃取比例10:1處理下，牛糞堆肥之可萃取性有機碳量約爲54g/kg，在萃取比例50:1處理下，牛糞堆肥之可萃取性有機碳量約爲116g/kg，在萃取比例100:1處理下，牛糞堆肥之可萃取性有機碳量約爲128g/kg。以1M 碳酸鈉爲萃取劑時，在萃取比例10:1處理下，牛糞堆肥之可萃取性有機碳量約爲43g/kg，在萃取比例50:1處理下，牛糞堆肥之可萃取性有機碳量約爲66g/kg，在萃取比例100:1 處理下，牛糞堆肥之可萃取性有機碳量約爲87g/kg。以1M尿素爲萃取劑時，在萃取比例10:1處理下，牛糞堆肥之可萃取性有機碳量約爲28g/kg，在萃取比例50:1處理下，牛糞堆肥之可萃取性有機碳量約爲37g/kg,在萃取比例100:1處理下，牛糞堆肥之可萃取性有機碳量約爲40g/kg。綜合表4試驗結果顯示，在使用不同萃取劑時，均可獲得一致之趨勢，即在萃取比例100:1 處理下所能得到之可萃取性有機碳量最多，其次爲萃取比例50:1處理者及10:1處理者，即表示萃取劑用量越多者，所得之可萃取性有機成分量即相對增加。且在萃取比例10:1與50:1之處理間,兩者差異頗顯著，惟萃取比例50:1與100:1 處理間之萃取量的差異幅度即趨於緩和，因此在實施化學萃取法時，化學萃取劑體積用量(ml)與堆肥材料重量(g) 之間的相對比例應以50:1處理較適宜。

表 4、不同萃取比例處理對牛糞堆肥中可萃取性有機碳量之影響

Table 4. Effects of the extracted ratio treatments of extractor on the amount of extractable organic carbon of dairy compost

Chemical extractor	Extracted Ratio[1]	Extractable org. C (g/kg)
0.1 M NaOH	10：1	54± 7[b2]
	50：1	116± 7[a]
	100：1	128±11[a]
1 M Na_2CO_3	10：1	43± 6[c]
	50：1	66± 2[b]
	100：1	87± 5[a]
1 M Urea	10：1	28± 7[b]
	50：1	37± 7[ab]
	100：1	40± 6[a]

1. the ratio of chemical extractor with compost by Volume(ml)/Weight(g)

2. Values within the column followed by the same letter are not significantly different at 5% level by Duncan's multiple range test.

㈢萃取振盪時間試驗

本試驗主要在於探討萃取振盪時間對有機質肥料中可萃取性碳、氮及磷成分量之影響。表5 即顯示不同萃取振盪時間處理對牛糞堆肥中可萃取性有機碳量之影響，其中在萃取振盪時間爲24hrs處理，利用1M 碳酸銨萃取牛糞堆肥所得之可萃取性有機碳量約爲30 g/kg ，在萃取振盪時間爲48hrs處理下，所得之可萃取性有機碳量約爲37g/kg，在萃取振盪時間爲72hrs處理，所得之可萃取性有機碳量約爲47g/kg，在萃取振盪時間爲144hrs處理，所得之可萃取性有機碳量約爲50g/kg，顯然萃取所得可萃取性有機碳含量隨萃取振盪時間之增加而增加，唯此兩處間萃取量之增加幅度隨萃取時間之增加而漸趨狹小。因此，在萃取時效以及萃取量兩者間之考量，似以連續萃取振盪時間爲72hrs較適宜。

表 5、不同萃取振盪時間處理對牛糞堆肥中可萃取性有機碳量之影響
Table 5. Effects of the shaking time treatments of extractor on the amount of extractable organic carbon of dairy compost

Chemical extractor	Shaking time(hrs.)	Extractable org. C (g/kg)
1M $(NH_4)_2CO_3$	24	30 ± 5^{c} [1]
1M $(NH_4)_2CO_3$	48	37 ± 3^{bc}
1M $(NH_4)_2CO_3$	72	44 ± 5^{ab}
1M $(NH_4)_2CO_3$	144	50 ± 5^{a}

1. Values within the column followed by the same letter are not significantly different at 5% level by Duncan's multiple range test.

㈣萃取劑pH之影響

由於不同萃取劑應用于堆肥之可萃取性有機化合物之含量及成分種類即不同(表3，圖1，圖2)，顯然不同萃取劑作用於堆肥所萃取之有機組成即不同。爲探討萃取劑pH值對有機質肥料中可萃取性碳、氮及磷成分量之影響，本試驗使用之萃取劑爲1M碳酸銨,試驗處理以1M碳酸銨溶液實測之pH值8.2爲基準，另用氫氧化鈉將其pH值分別調整爲10.3及12.3，組合成三級不同pH值處理。表6即顯示以1M碳酸銨爲萃取劑，調整成不同pH值處理對木屑雞糞堆肥中可萃取性有機碳量之影響，其中pH值8.2處理所得可萃取性有機成分量爲47g/kg，pH 值10.3處理所得可萃取性有機成分量爲59g/kg，pH值12.3處理所得可萃取性有機成分量爲71 g/kg，顯然以1M碳酸銨萃取木屑雞糞堆肥所得可萃取性有機碳量隨萃取液pH值之增加而增加。Huang (1990) 研究指出，碳酸銨與有機質產生碳酸鹽沈澱之作用，主要是碳酸銨溶液產生碳酸離子 (CO_3^{-2})，而與有機質中所含鈣及鎂成分作用而形成碳酸鹽沈澱[14]。由此印證,萃取劑之pH值不同可能影響到萃取液中碳酸離子百分率，以致影響與有機質之作用，使萃取所得有機成分含量呈現不同之效應。惟此萃取作用之眞正效應仍有待進一步探討。

表 6、萃取劑pH值處理對木屑雞糞堆肥中可萃取性有機碳量之影響

Table 6. Effects of the pH treatments of extractor on the amount of extractable organic carbon of sawdust-chicken waste compost

Chemical extractor	pH	Extractable org. C (g/kg)
1M $(NH_4)_2CO_3$	8.2	47±5[c 1]
1M $(NH_4)_2CO_3$	10.3	59±5[b]
1M $(NH_4)_2CO_3$	12.3	71±6[a]

[1]. Values within the column followed by the same letter are not significantly different at 5% level by Duncan's multiple range test.

(五)化學萃取法之萃取步驟流程

綜合以上各項萃取方法試驗結果，可將化學萃取法的實驗操作步驟整理如圖3之流程，堆肥材料均事先經過磨粉過篩(100mesh)及105℃烘乾待用，萃取比例是以化學萃取劑體積用量(ml)與堆肥材料重量(g)之比例爲50:1，即稱取4g堆肥材料，加入200 ml萃取劑，將此萃取溶液裝於300 ml塑膠瓶內，置於恆溫(30℃)下，經連續72hrs振盪後，再以離心法(3000xg，30 mins)收集上澄液，測定上澄液有機碳含量,即爲可萃取性碳含量，另吸取20ml上澄液加入幾滴0.01M 氯化鈣($CaCl_2$)以將有機成分沉澱，再以濾紙過濾，並以酒精及蒸餾水淋洗，收集沉澱部分烘乾後，測其氮及磷成分含量，即爲可萃取性有機氮及磷之含量。依此步驟操作可得較精確及穩定之堆肥可萃取性有機成分，而此可萃取性有機成分是否足以代表堆肥之可利用性養分潛力，尤其不同萃取劑之間的萃取效應頗有差異，何種萃取劑之效應較具代表性，尙須經由施用堆肥對作物養分吸收率之試驗分析加以評估。

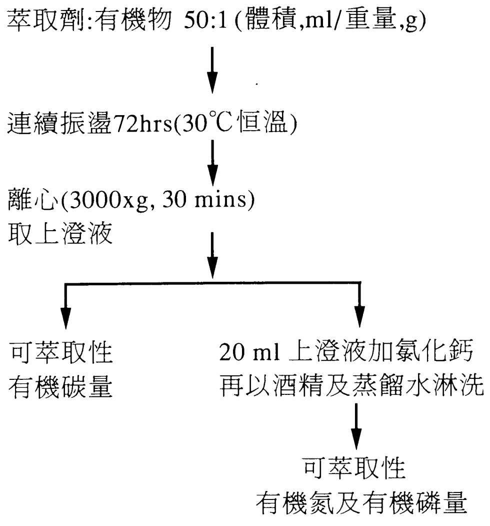

圖 3、化學萃取法操作流程簡圖

Fig 3. The program of the chemical extracted method

二、堆肥有效養分潛能估測模式之建立

(一)供試堆肥可萃取性有機成分含量

本試驗堆肥材料均事先測定其可萃取性有機成分含量，以期作為後續估算堆肥礦化潛能之分析使用。化學萃取劑選用1M碳酸銨及0.1M氫氧化鈉，其它萃取方法與步驟則以本文第一節試驗中所建立化學萃取法為主。由供試堆肥之可萃取性有機成分含量顯示(表7)，以1 M 碳酸銨萃取不同堆肥之可萃取性有機氮含量約為1727～5801mg/kg，可萃取性有機磷含量約為249～826mg/kg，可萃取性有機碳含量約為26～55g/kg，以0.1M氫氧化鈉萃取不同堆肥之可萃取性有機氮含量約為4528～7654mg/kg，可萃取性有機磷含量約為390～1682mg/kg，可萃取性有機碳含量約為76～121g/kg，顯然以0.1M氫氧化鈉萃取堆肥所得之有機成分量高於1M碳酸銨之萃取量。而由表7 不同堆肥中可萃取性有機成分含量資料，可與各試驗處理之每盆堆肥用量換算出實際施入每盆中該堆肥之可利用性養分估算量。

表7、試驗堆肥之可萃取性有機氮、磷及碳含量

Table 7.The ammount of extractable organic N, P, C of composts

Compost	Ammonium carbonate extractable			Sodium hydroxide extractable		
	Org. N	Org. P	Org. C	Org. N	Org. P	Org. C
	mg/kg	mg/kg	g/kg	mg/kg	mg/kg	g/kg
RC	5801±227	586±131	55±3	7654±261	1578± 58	121± 5
RH	5120± 65	601± 86	51±3	7349±108	1417±132	118± 6
RD	4267±142	826±118	26±3	5136± 74	1682± 26	76± 7
RS	4678±138	437± 59	42±2	7032±149	925± 97	102±10
SC	3390±391	249± 24	43±7	6550±302	390± 62	104± 4
DC	1727± 53	638±101	44±5	4528±136	1676±204	116± 7
MC	3422± 40	265± 50	51±5	6645±210	520± 71	98± 5
HM	5520±125	755± 90	72±6	8805±112	1468±141	174±14

RC：rice straw-chicken waste compost
RH：rice straw-hog waste compost
RD：rice straw-dairy waste compost
RS：rice straw-bean meal compost
SC：sawdust- chicken waste compost
DC：dairy waste compost
MC：mushroom- chicken waste compost
HM：hog manure

㈡玉米抽穗期之植株氮吸收量與土壤無機氮含量

一般可利用不同化學方法分析有機質肥料中可利用性養分含量，再與施用有機質肥料之作物養分吸收量與土壤肥力反應相互探討，並據以建立適當的迴歸式予以評估[3,26]。由於玉米在植後4～6週間是玉米吸收養分最旺盛時期，至第11週時玉米養分吸收量已近最大值[1]，一般以玉米抽穗期的養分吸收狀況為營養診斷之重要時期[10]。本試驗即分別於玉米抽穗期採取玉米植株及土壤樣品，表8 即為玉米抽穗期之植株乾物重、氮吸收量及土壤無機氮量，其中八十年春作試驗結果顯示，在施用堆肥處理區之玉米植株乾物重約介於58.8～80.1g/plant，對照處理為49.7g/plant，在施用堆肥處理區之玉米植株氮吸收量約介於1628 ～2524mg/plant，對照處理為905 mg/plant。由八十一年秋作試驗結果顯示，在施用堆肥處理區之玉米植株乾物重約介於33.5～57.4 g/plant，對照處理為23.7g/plant，在施用堆肥處理區之玉米植株氮吸收量約介於359～613mg/plant，對照處理為203mg/plant。由八十二年秋作試驗結果顯示，在施用堆肥處理區之玉米植株乾物重約介於42.0～60.5 g/plant，對照處理為8.9g/plant，在施用堆肥處理區之玉米植株氮吸收量約介於497～807mg/plant，對照處理為69mg/plant。綜合以上結果顯示，玉米植株之生長在不同堆肥種類及用量處理下有顯著的差異，亦即在堆肥種類及用量不同情況下，堆肥施用之效益即不同，其原因應與不同堆肥含有不同的有機組成及礦化特性有關[7,8,11,15]。因此有必要審慎地估算有機質肥料在作物生長期內的有效養分潛能，以期能達到經濟且有效地使用有機質肥料[18]。

㈢堆肥有效養分潛能估測模式之建立

本試驗利用碳酸銨及氫氧化鈉化學萃取法分析堆肥的可萃取性養分量，其中表7 即顯示本試驗供試堆肥的可萃取性有機氮量。由於一般常將作物的氮吸收量與土壤無機氮總量之和代表該堆肥處理的淨有效氮量(已扣除空白對照組之土壤有機質的氮礦化量)。因此必須探討以化學萃取法所得之堆肥可萃取性有機氮量與該堆肥處理在玉米生育期間的淨有效氮量之間的關係。Schaetzl等(1994)研究報告中曾列舉出適用於描述土壤中會隨時間變化之作用機制(soil chronfunction)的11種數學模式[24]。其中以 $\ln Y=\ln a+b/X$ 迴歸模式頗類似於本試驗所顯示不同堆肥可萃取性有機氮量與該堆肥在玉米生育期間淨有效氮量之關係，表9 即顯示利用此迴歸模式於不同化學萃取法所測得堆肥可萃取性有機氮量與該堆肥在玉米生育期間淨有效氮量之分析結果，其中由氫氧化鈉萃取堆肥之可利用性氮潛力與堆肥淨有效氮量之相關性(r^2=0.587**)可達極顯著水準，由碳酸銨萃取堆肥之可利用性氮潛力與堆肥淨有效氮量之相關性(r^2=0.673**)可達極顯著水準，由全氮作為估測堆肥之可利用性氮潛力與堆肥淨有效氮量之相關性(r^2=0.605**)可達極顯著水準。其中以碳酸銨萃取法所得迴歸式之相關係數最高，且其迴歸式參數之變異性相對較低，又驗證以碳酸銨萃取法所得堆肥之可利用性氮潛力與堆肥淨有效氮量最接近，顯然以碳酸銨萃取法估測堆肥可利用性氮潛力較具可行性。

表8、玉米抽穗期之植株乾物重、氮吸收量及土壤無機氮含量

Table 8. The dry weight, the uptaked-N of corn plant and inorganic-N content of soil at heading stage

Treatment[1]	Dry weight	Uptaked-N	Soil inorg-N
	g/plant	mg/plant	mg/kg
Experiment II-1			
RC(3%)	68. 5[b2]	1974[c]	31. 2[a]
RC(6%)	72. 4[ab]	2130[bc]	25. 2[b]
RH(3%)	70. 0[b]	2128[bc]	30. 7[a]
RH(6%)	80. 1[a]	2524[a]	25. 7[b]
RD(3%)	58. 5[c]	1628[b]	27. 0[ab]
RD(6%)	63. 9[bc]	1824[c]	23. 5[b]
RS(3%)	62. 0[bc]	1826[c]	29. 2[ab]
RS(6%)	67. 3[b]	2214[b]	22. 7[b]
Control	49. 7[d]	905[e]	18. 5[c]
Experiment II-2			
CC(2.25%)	57. 4[a]	613[a]	47. 0[a]
CC(1.50%)	49. 5[ab]	545[b]	44. 5[ab]
CC(0.75%)	45. 2[b]	536[b]	40. 0[b]
DC(2.25%)	41. 7[bc]	440[c]	38. 2[bc]
DC(1.50%)	35. 5[c]	389[d]	35. 3[c]
DC(0.75%)	33. 5[c]	359[d]	35. 0[c]
Control	23. 7[d]	203[e]	19. 5[d]
Experiment II-3			
MC(6%)	60. 5[a]	807[a]	22. 5[ab]
MC(3%)	48. 2[bc]	606[bc]	19. 8[bc]
MC(1%)	42. 0[bc]	527[c]	17. 8[c]
DC(6%)	55. 6[ab]	767[ab]	25. 5[a]
DC(3%)	51. 7[bc]	670[b]	21. 0[bc]
DC(1%)	42. 2[c]	497[c]	20. 0[bc]
Control	8. 9[d]	69[d]	12. 3[d]

1. RC：rice straw-chicken waste compost
RH：rice straw-hog waste compost
RD：rice straw-dairy waste compost
RS：rice straw-bean meal compost
SC：sawdust- chicken waste compost
DC：dairy waste compost
MC：mushroom- chicken waste compost
HM：hog manure

2. Values within the column followed by the same letter are not significantly different at 5% level by Duncan's multiple range test.

表 9、利用不同化學萃取法所測得堆肥可萃取性氮含量與堆肥在玉米生育期間淨有效氮量之迴歸分析[1]

Table 9. Regression analysis between the potential available N of compost(PAN) determined from various chemical indices and the estimated net available N in one corn growth season[1]

PAN[2]	R squared	Constant	X coefficient	Y max.
NN	0.587**	7.01±0.30	-374±74	1112±162
AN	0.673**	6.93±0.31	-142±29	1021±105
TN	0.605**	7.08±0.30	-1750±336	1189±228

1. regresion $\ln Y = \ln A + B/X$,

Y : estimated net available N,

X : potential available N of compost(PAN).

2. NN, AN, and TN means the PAN determined from chemical indices of 0.1M NaOH extr. N, 1M $(NH_4)_2CO_3$ extr. N, and Total N, respectively.

參考文獻

1.黃裕銘 1978 施用尿素及硫裹尿素對土壤氮素轉變及玉米養分吸收的影響 國立中興大學土壤學研究所碩士論文

2.曾景山 1994 酸性及鹼性土壤對有機資材所含營養元素及腐植化物質之影響 國立中興大學土壤學研究所博士論文

3.Bitzer, C. C., and J. T. Sims. 1988. Estimating the availability of nitrogen in poultry manure through laboratory and field studies. J. Environ. Qual. 17:47-54.

4.Chae, Y. M. and M. A. Tabatabai. 1986. Mineralization of nitrogen in soil amended with organic wastes. J. Environ. Qual. 15:193-198.

5.Chang, C., T. G. Sommerfeldt, and T. Entz. 1991. Soil chemistry after eleven annual applications of cattle feedlot manure. J. Environ. Qual. 20:475-480.

6. Castellanos, J. Z., and P. F. Pratt. 1981. Mineralization of manure nitrogen-correlation with laboratory indexes. Soil Sci. Soc. Am. J. 45:354-357.

7. Collins, H. P., L. F. Elliott, R. W. Rickman, D. F. Bezdicek, and R. I. Papendick. 1990. Decomposition and interactions among wheat residue components. Soil Sci. Soc. Am. J. 54:780-785.

8.Deluca, T. H., and D. R. Keeney. 1993a. Soluble organics and extractable nitrogen in paired prairie and cultivated soils of central Iowa. Soil Sci. 155:219-228.

9.Douglas, B. F., and F. R. Magdoff. 1991. An Evaluation of nitrogen mineralization indices for organic residues. J. Environ. Qual. 20:368-372.

10.Elwall, A. M. O., G. J. Gascho. 1985. DRIS norms for 11 nutrients in corn leaves. Agron. J. 77:506-508.

11.Fox, R. H., R. J. K. Myers, and I. Vallis. 1990. The nitrogen mineralization rate of legume residues in soil as influenced by their polyphenol, lignin, and nitrogen contents. Plant and Soil. 129:251-259.

12.Fox, R. H., and W. P. Piekielek. 1978. A rapid method for estimating the nitrogen supplying capacity of a soil. Soil Sci. Soc. Am. J. 42:751-753.

13.Gerasimowicz, W. V., and D. M. Byler. 1985. Carbon-13 CPMAS NMR and FTIR spectroscopic studies of humic acids. Soil Sci. 139:271-278.

14.Huang, Y. M. 1990. The effects of precipitation of calcium carbonate on soil pH following urea application. D. PHIL. Thesis. University of Oxford.

15.Honeycutt,C. W., L. J. Potaro, K. L. Avila, and W. A. Halteman. 1993. Residue quality, loading rate and soil temperature relations with hairy vetch (Vicia villosa Roth) residue carbon, nitrogen and phosphorus mineralization. Biol. Agric. Horti. 9:181-199.

16.Jacobs, L. W. 1990. Potential hazards when using organic materials as fertilizers for crop production. ASPAC/FFTC Extension Bulletin No. 313:1-29.

17.Keeney, D. R., and J. M. Bremner. 1966. Comparison and evaluation of laboratory methods of obtaining an index of soil nitrogen availability. Agron. J. 58:498-503.

18.King, L. D. 1984. Availability of nitrogen in municipal, industrial, and animal wastes. J. Environ. Qual. 13:609-612.

19.Kononova, M. M. 1966. Soil organic matter. Pergamon Press, Oxford.

20.O'Keefe, B. E., J. Axley, and J. J. Meisinger. 1986. Evaluation of nitrogen availability indexes for a sludge compost amended soil. J. Environ. Qual. 15:121-128.

21.Nugroho, S. G., S. Yoshida, and S. Kuwatusuka. 1992. Concurrent observation of several processes of nitrogen metabolism in soil amended with organic materials. V. Effects of long-term application of farmyard manure and nitrogen fertilizer on N cycling processes in upland field soil. Soil Sci.Plant Nutr. 38(4):619-629.

22.Nugroho, S. G., and S. Kuwatusuka. 1990. Concurrent observation of several processes of nitrogen metabolism in soil amended with organic materials. I. Effect of different organic materials on ammonification, nitrification, denitrication, and N_2 fixation under aerobic and anaerobic conditions. Soil Sci. Plant Nutr. 36(2):215-224.

23.Piccolo, A., and J. S. C. Mbagwu. 1990. Effects of different organic waste amendments on soil microaggregates stability and molecular sizes of humic substances. Plant and Soil. 123:27-37.

24.Schaetzl, R. J., L. R. Barrett, and J. A. Winkler. 1994. Choosing models for soil chronofunctions and fitting them to data. European J. Soil Sci. 45:219-232.

25.Serna, M. D., and F. Pomares. 1992. Evaluation of chemical indices of soil organic nitrogen availability in calcareous soils. Soil Sci. Soc. Am. J. 56:1486-1491.

26.Sikora, L. J., and J. L. McCoy. 1990. Attempts to determine available carbon in soils. Biol. Fertil.

Soils. 9:19-24.
27.Sims, J. T. 1986. Nitrogen transformations in a poultry manure amended soil: Temperature and moisture effects. J. Environ. Qual. 15:59-63.
28.Smith, S. R., and P, Hadley. 1989. A comparison of organic and inorganic nitrogen fertilizers: Their nitrate-N and ammonium-N release characteristics and effects on the growth response of lettuce(Lactuca sativa L.cv.Fortune). Plant and Soil. 115:135-144.
29.Stevenson, F. J. 1982. Spectroscopic approaches. In "Humus Chemistry" pp.264-284. John Wiley & Sons, Inc.
30.White, R. H. 1979. Nutrient cycling. In Introduction to the principles and practice of soil science. Blackwell Scientific Publications. Oxford. London. p.129-143.

Evaluation of potentially available nutrient of compost

Yi-Fong Tsai, Tzo-Chuan Juang, and Yuh-Ming Huang

Summary

The most efficient way to understand availability of nutrient of organic fertilizers is to determine their PAN(potentially available nutrient) and manage their mineralization rates to match the amounts of nutrients needed for the aim crops. The objectives of this research was to deveolope a chemical extracting method for estimating of the PAN value of composts. Pot experiments with different levels of composts added were conducted to evaluate four chemical extracts(0.1 M NaOH, 1 M Na_2CO_3, 1 M $(NH_4)_2CO_3$, 1 M Urea) for estimating the PAN value of composts. Results inducated that the best correlation was between the amount of net available N and organic N extracted by the ammonium carbonate which could significantly be described by $\ln Y=\ln a+b/X$ (X:potential available N of compost, Y: estimated net available N, $r^2=0.673^{**}$). It is concluded that the ammonium carbonate extraction method is effective on evaluating the PAN value of composts.